

⑮ Int. Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑯ 公開 昭和62年(1987)12月19日

B 23 B 37/00

7528-3C

審査請求 有 発明の数 1 (全 8 頁)

⑰ 発明の名称 精密振動穴加工方法

⑱ 特 願 昭61-133833

⑲ 出 願 昭61(1986)6月11日

⑳ 発 明 者 隈 部 淳 一 郎 宇都宮市南大通り1-4-20 チサンマンション701号室

㉑ 出 願 人 隈 部 淳 一 郎 宇都宮市南大通り1-4-20 チサンマンション701号室

㉒ 代 理 人 弁理士 伊 東 貞 雄

## 明 細 書

(従来技術)

## 1. 発明の名称

精密振動穴加工方法

## 2. 特許請求の範囲

穴加工用切削・研削工具の円周方向に超音波ねじり振動子によって超音波域の高い振動数 $f$ と振幅 $a$ で超音波ねじり振動させ、さらに該工具を該工具の軸方向に異る振動数 $F < f$ と振幅 $A$ で重畳振動させて、該工具あるいは工作物を切削速度 $v < 2\pi af$ で回転させ、切りくずを規則的に切断し、断続パルス切削力波形を発生させ、該波形によって穴加工することとを特徴とする精密振動穴加工方法。

## 3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、工具にねじり超音波振動と、それより低い工具軸方向の振動を重ねさせて振動切削し切りくずを切断して断続パルス切削力波形によって精密穴加工するようにした精密振動穴加工方法に関する。

穴の超精密加工への期待は日に日に高まってきている。又、一方では新素材も開発されてきている。これらの新素材はいずれも難削材であって、従来の切削法における切削性改善のための唯一の手段である高速切削法のみではその期待に応えることができない現状である。最近の新素材であるセラミックスを含めて工業材料すべてに対して超精密加工ができる新しい精密穴加工法の開発が切望されている。

第14図は、従来から実施されているドリル、リーマ、ダイヤモンド工具による穴あけにおける工具-工作物振動系を示す。 $\omega_x$ ,  $\omega_y$ はX, Y方向の工具の角固有振動数、 $M_T$ は回転トルク、 $P_x$ ,  $P_y$ は工具の曲げたわみによって生ずるX, Y方向の分力を示し、 $k_x$ ,  $k_y$ はX, Y方向のばね定数、 $C_x$ ,  $C_y$ はX, Y方向の粘性減衰係数である。第15図は、そのときの切削力波形を示すもので、推力 $P' + p' \sin \omega t$ およびトルク $M_T' + m_T' \sin \omega t$ で表わされる

直流成分に交流成分を重ねた慣用切削力波形を示す。この第14図および第15図において、 $\omega \gg \omega_x, \omega_y$  とすると、穴の加工精度に関係する変位  $x$  および  $y$  は、 $x \approx \frac{P_x}{K_x}$  および  $y \approx \frac{P_y}{K_y}$  となり、工具のねじり折損に関係する角変位  $\theta$  は  $\theta \approx \frac{M_x}{I_p}$  ( $I_p$ : 慣性性能率) で表わされ、時間の関数項は無視でき、工具の変位は静的変位のみとなって真円度、円筒度、表面粗さの時間的変動がなくなつて精密加工を可能とする。

この  $\omega \gg \omega_x, \omega_y$  は高速切削することによって実現する。この  $P_x$  および  $P_y$  は高速切削することによって軽減する。

(発明が解決しようとする問題点)

しかし乍ら上記従来技術に於ては高速切削しただけでは  $P_x$  および  $P_y$  の軽減度にも限界があり、超精密穴加工ができないという問題点があった。(問題点を解決するための手段)

本発明は上記問題点に着目してなされたもので、穴加工用切削・研削工具の円周方向に超音波ねじり振動子によって超音波域の高い振動数

$f$  と振幅  $a$  で超音波ねじり振動させ、さらに該工具を該工具の軸方向に異なる振動数  $F < f$  と振幅  $A$  で重ね振動させて、該工具あるいは工作物を切削速度  $v < 2\pi af$  で回転させ、切りくずを規則的に切断し、断続パルス切削力波形を発生させ、該波形によって穴加工することの特徴とするものである。

上記、従来の高速切削によって軽減した切削力をさらに軽減させる方法として、この切削力が工作物に作用する時間  $t_c$  を第1図のように周期  $T$  で断続させて作用させることを考えた。まず、最初にこの時間  $t_c$  を比較的長くし、その周期  $T$  をゆっくりとした周期とし、 $\omega = \frac{2\pi}{T} < \omega_x, \omega_y$  とする。このときの振動切削機構は零位瞬間振動切削機構となり、切削工具、研削工具はその回転中心と同芯にして取付けた状態、すなわち切削抵抗が作用しないときの変位が零の状態から(+)方向と(-)方向にわずかの量だけ弾性振動する瞬間に切り屑を生成して切削する切削機構となる。その結果、第1図において

$P = P' + p'$ ,  $M_t = M'_t + m'_t$  として、そのパルス切削力の値  $P$  およびトルクの値  $M_t$  が第15図の切削力およびトルクと等しい値であったとしても見掛け上は、その値を減少させて変位と角変位を減少させる効果をもたらす。

この効果は高速回転する切削工具、研削工具をその工具軸方向に可聴波域の低周波振動数で振動させて穴あけすることによって実現する。この効果は、第14図に示したような工具-工作物振動系によって構成されている工作機械の周波数特性を巧みに利用したために得られたものである。そこで、この周波数特性に注目して切削抵抗をさらに激減させ、画期的な切削効果を発揮させることを考える。

いま、第2図のような断続パルス切削力波形1において、 $\omega' = \frac{2\pi}{T'} \gg \omega_x, \omega_y$ ,  $t'_c = \frac{T'}{2}$  とすると、不感性感動切削機構に変化し、工具の変位  $x$ ,  $y$  は見掛け上、その切削力が半減して  $P'_c = \frac{P}{2}$  が作用したときと同様な動的挙動をすることになる。このとき、工具工作物の接

触面、切りくずと工具すくい面との接触摩擦抵抗などの摩擦抵抗が激減するため  $P_c < P$  となつて、切削力  $P$  およびトルク  $M_t$  を激減させ、変位  $x$  および変位  $y$  と角変位  $\theta$  を激減させ精密穴加工を可能とする。

次に、この断続パルス切削力波形の発生機構をドリルによる穴あけの場合で説明する。第3図、第4図は、直径  $d$  のドリルの任意半径の位置における2枚の切刃2, 3による切り屑成形機構を説明する図である。切刃3は工作物切削部4を矢印Cの方向に  $\frac{d}{2} \cos(\tan^{-1} \frac{s}{\pi d})$  の一様な切込みで切削して切り屑5を生成する。この切削機構がドリル切刃全長にわたって連続して行われて所定形状の穴加工がなされる。

まず最初に、第3図のドリルを第4図のようにして、その軸方向Dに振動数  $F$  および振幅  $A$  で振動させる。このようにすることによって、切刃2の先端  $P_1$  および切刃3の先端  $P_2$  は正弦波形5, 6のように振動して切刃3は斜線で囲んだ面積  $a_1 b_1 c_1 d_1$ ,  $a_2 b_2 c_2 d_2 \dots$  を切

削する機構となり、これを断続した切りくず8に生成して、その切削力波形を第1図とすることができる。このとき、 $t_c = \frac{1}{2}T$ となる。このようにして、慣用ドリルによる穴あけでは第5図のように連続した一様な切削面積9を切削していることに対して、第6図のように断続する切削面積群10、 $a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2, d_2, \dots$ とし、これを切削して断続切削力波形とすることができる。

つぎに、第7図のようにして、切刃2および3をドリルの円周方向である矢印Eの方向に超音波域の高い振動数 $f$ と振幅 $a$ でねじり超音波振動させる。第8図は切刃付近を拡大して示す振動切削機構図である。切刃は $a \sin \omega t$ の変位波形で振動する。矢印Fの方向の切削速度 $v$ に対して、 $v < 2\pi af$ の切削条件を与える。変位波形上の $\widehat{ijn}$ 、 $\widehat{hij} \dots$ で切刃すくい面は工作物と接触し切りくずを生成する。点Oから時刻 $t_1$ の点nは振動の速度と切削速度 $v$ とが方向を同じくして速度が相等しい点である。点n

から点hまでは切刃すくい面と工作物とが接触しない時間で、時刻 $t_2$ の点hから接触を開始し始めて、点jから再び離れ始める。この $\widehat{ijn}$ で切りくず1を生成し、パルス切削力主分力 $P_c$ 、背分力 $P_t 1$ を発生する。続いて $\widehat{hij}$ で切りくず2を生成し、パルス切削力 $P_c$ 、 $P_t 2$ を発生する。これを繰返して切りくず1, 2, 3,  $\dots$ を生成する。そして第6図に示した切削面積10を切削し、流れ型切りくず11を生成する。このときの切削力波形は第9図に示すように切削時間 $t_c'$ のパルス幅をもち周期 $T'$ のパルス切削力波形となる。このようにして第1図の切削時間 $t_c$ のパルス幅を小刻みに細分割し、これを周期 $T$ で繰返すことができるようになる。すなわち、第10図に本発明の特徴を総括して示すように、ドリルを円周方向に振動数 $f$ 、振幅 $a$ で超音波振動させ、これを軸方向に振動数 $F$ 、振幅 $A$ で振動させ、従来の穴あけでは連続した切削面積を断続させて切削面積10とし、これを振動切削機構によって小刻みに切

削して切りくず厚さの薄い流れ型の切りくず11を断続して生成し、断続パルス切削力波形を発生させることができる。そして、切削工具、研削工具あるいは工作物に作用する切削力を激減させ加工精度を向上させ、工具寿命をながくする画期的効果をもたらす。本発明における振動数 $F$ は極力高いほうがよいのであるが、実施可能な範囲は10～500Hz程度である。その主な理由は、切削工具あるいは研削工具およびねじり振動子からなる超音波ねじり振動系を駆動するための振動駆動装置として用いる電気油圧駆動装置の動特性によって決められるところにある。

以上最も多く使用され、代表的な穴加工用工具であるドリルによって本発明を説明したがドリルの外にリーマ、エンドミルなどの穴加工切削工具および各種砥粒、例えばダイヤモンド砥粒による研削工具に本発明が適用される。すなわち、2枚の切刃によるドリルの1刃あたりの送り $\frac{s}{2}$ に対して、4枚～6枚、8枚とその刃

数を増したのがリーマで、さらにその刃数を増加させて1刃あたりの送りを少なくした工具が研削工具である。刃先形状は多少異なるが刃先の運動軌跡と切削機構は同一にして考えることができる。これらの工具に対する本発明の実施要領を第11図にまとめて示す。

工作物15に対して、リーマ12、ドリル13、研削工具14を矢印Eの方向に振動数 $f$ 、振幅 $a$ でねじり超音波振動子を用いてねじり超音波振動させながら、工具を矢印Fの方向に回転速度 $v < 2\pi af$ で回転させその装置全体を電気油圧装置を使用して矢印Dの方向に200Hz以下の低い振動数で振動させて送り $S$ を与えて穴加工することによって本発明が実施される。

#### (実施例)

本発明の具体的実施例の1例をフラットドリルによる穴あけについて第12図によって説明する。

フラットドリル16を尾部に取付けたねじり電わい振動子18によって駆動される振動主軸

17の先端にテーパ結合して着脱が自由にできるようにして固定する。振動主軸17に生ずる2つの振動節にまたがるスリーブ19を利用して軸受20を取り付け、振動主軸がその振動状態に影響を与えることなくユニット本体21内で摩擦少く、振れ少く回転できるようにする。ユニット本体21には電動機22を取り付け、ベルト23によってスリーブに固定したプーリーを利用して振動主軸を矢印Fの方向に回転させる。プーリーにはスリップリング25を取り付け、相対するブラッシュ26からの励振電圧を回転する電わい振動子18に供給する。そして、ドリル先端を振動数 $f$ 、振幅 $a$ で矢印Eの方向に超音波ねじり振動させる。ユニット本体21は往復台29上に設けた鋼球で案内されるガイドローラー30上に固定する。そして、連結棒31によって電気-油圧式振動駆動装置32と結合する。この電気-油圧式振動駆動装置32を利用して油圧装置34からの圧油をサーボ弁33を用いて制御装置35によって交互に切換

せる。工具を矢印Fの方向に回転させ、矢印41の方向に送りSを与え、下穴のあいた工作物40を精密加工する。また、場合によっては工作物40を回転させてもよい。多量の研削液を供給して研削することによって本発明の実施効果は倍増する。また、本装置は遊離砥粒とラップ棒とによるラッピングにも適用でき画期的なラッピング効果を得ることができる。

#### (効果)

次に本発明の実施によって得られた具体的実施効果について説明する。

直径4mmのドリルによるステンレス鋼SUS304、直径10mm、長さ30mmの素材への穴あけに本発明を実施したときの実施効果について説明する。超音波振動数 $f=21.7\text{KHz}$ 、振幅 $a=22\mu\text{m}$ 、低周波振動数 $F=100\text{Hz}$ 、振幅 $A=0.2\text{mm}$ 、送り $S=0.01\text{mm/rev}$ 、ドリルは逃げ角を般用ドリルよりも大きくした超音波ねじり振動超硬ドリル、回転数は、ドリル外周の周速度 $v=25\text{m/min}$ が $v<2\pi af=180\text{m/min}$ の

えてドリルを2~200Hz程度の振動数で矢印Dの方向に振動数 $F$ および振幅 $A$ で振動させる。

工作物36をチャック37に取り付ける。場合によってはこの工作物を回転させてもよい。このようにして、超音波発振機27、油圧装置34および制御装置35を作動させ、ドリルを超音波ねじり振動しながら回転し、かつ軸方向に低周波振動するドリルに送りSを矢印38の方向に与えることによって本発明による精密穴加工が実施できる。

次に固定砥粒による穴加工用研削工具を用いた本発明の実施例の他の1例を第13図によって説明する。工具39を第12図の場合と同様にして矢印Iの方向に振動数 $f$ および振幅 $a$ でねじり超音波振動させる。この工具は表面エッジの鋭い砥粒あるいはダイヤモンド砥粒を工具円筒表面および端面に一様に分布固定してその円筒面をドレッシングして成形した超音波ねじり振動研削工具である。これをさらに、振動数 $F$ および振幅 $A$ で矢印Jの方向に低周波振動さ

振動切削機構を満足するように $2000\text{r.p.m}$ として、多量の切削油剤を給油として本発明を実施することによって、慣用切削では連続した切りくずを寸断してその切削トルクが約 $1/2\sim 1/3$ に減少した。また、ドリルの喰いつき時のドリル刃先の味噌すり運動が本発明によって皆無になり、円筒度、真円度、表面粗さが向上した。例えば、穴の直径寸法精度を $\pm 0.01\text{mm}$ 以内とし、真円度 $1.5\mu\text{m}$ 、表面粗さを $1\mu\text{m}$ 以下とし、喰いつき部のだれや切り終り部でのばりを皆無とすることに成功した。

切りくずが切断されるので切りくずの排出が円滑となり、ドリルの折損を防止し、異常な摩擦現象の発生を防ぎ、ドリルの寿命を延ばし、加工コストの軽減に貢献する効果が確かめられた。

上記のようにして加工した下穴に対して取りしる $0.01\text{mm}$ の砥粒径 $\#100$ のダイヤモンド電着リーマを使用して、送り $S=10\mu\text{m/rev}$ とする以外は上記の加工条件と同一にして仕上加工

に本発明を実施することによって、 $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$   $R_{\text{max}}$ 程度の平滑な表面粗さとなり、真円度も $0.5 \sim 1 \mu\text{m}$ 程度に向上し、円筒度も改善され、工具を発熱させることなく、精密穴加工面となしうことに成功した。ダイヤモンド研削工具にも適用できるためにセラミックスなどの硬ぜい材料に対する精密穴加工を可能とする。また、この軸受に空気軸受を使用して主軸の振れを除去して超精密回転させ本発明を実施すると、表面粗さ $\approx 0$ 、真円度 $\approx 0$ 、円筒度 $\approx 0$ などの超精密穴加工を実現させる。

また、遊離砥粒によるラッピング効果も顕著で、本発明の実施によって、工作物端面のだれを皆無し、ひききずのない一様な平滑な表面粗さの穴面に従来の加工時間の $1/5 \sim 1/10$ という極めて短い時間で加工するという今までのラッピングに改善が期待されていた能率向上に画期的な成果をあげることができた。

#### 4. 図面の簡単な説明

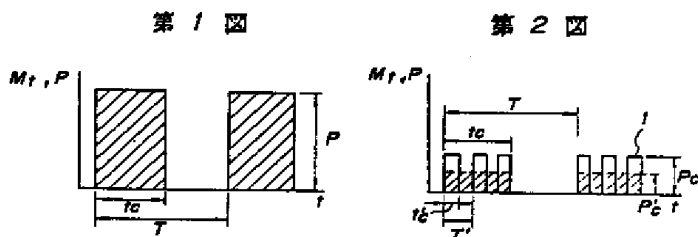
第1図はパルス切削力波形の作用説明図、第

2図は断続パルス切削力波形の作用説明図、第3図はドリルを例にあげ、従来の普通切削における切刃の運動機構と切削面積を説明する図、第4図はドリルを例にあげ、ドリルの軸方向に低い振動数 $F$ と振幅 $A$ を与えた時の切刃の運動機構を示し、切削面積を断続させる機構を説明する図、第5図は慣用切削における一様に連続した切削面積を示す図、第6図は本発明によって断続される切削面積を示す図、第7図は工具を円周方向に振動数 $f$ 、振幅 $a$ で超音波振動させて、断続された切削面積を振動切削する本発明を説明する原理図、第8図は $v < 2\pi af$ の条件を与えてパルス切削力波形とする機構を説明する図、第9図は本発明の方法による断続パルス切削力波形の作用説明図、第10図はドリルを例にあげ、ドリルの軸方向に低い振動数 $F$ と振幅 $A$ 、さらに円周方向に超音波振動数 $f$ と振幅 $a$ を与えたときの切刃の運動機構を示し、断続する切削面積を寸断して流れ型の断続切取りくずとして断続パルス切削力波形とする機構

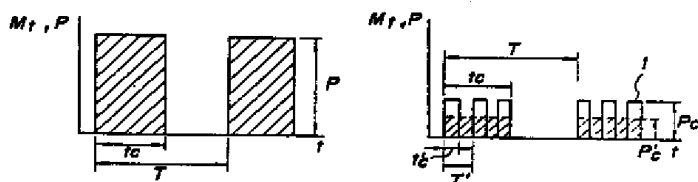
の説明図、第11図は代表的な穴加工工具を例示して本発明の実施方法の説明図、第12図はドリルによる本発明方法を実施する装置の側面図と一部中心断面図、第13図は固定砥粒による穴加工用工具による本発明方法を実施する装置の側面図と一部中心断面図、第14図はドリル、リーマなどの穴加工用工具の振動系説明図、第15図は慣用切削力波形の説明図である。

- 1…断続パルス切削力波形
- 2, 3…ドリル切刃
- 7, 8…断続した切りくず
- E…超音波ねじり振動
- 11…断続した流れ型切りくず
- 27…超音波発振機
- 32…電気-油圧装置
- 16…超音波ねじり振動ドリル
- 39…超音波ねじり振動研削工具

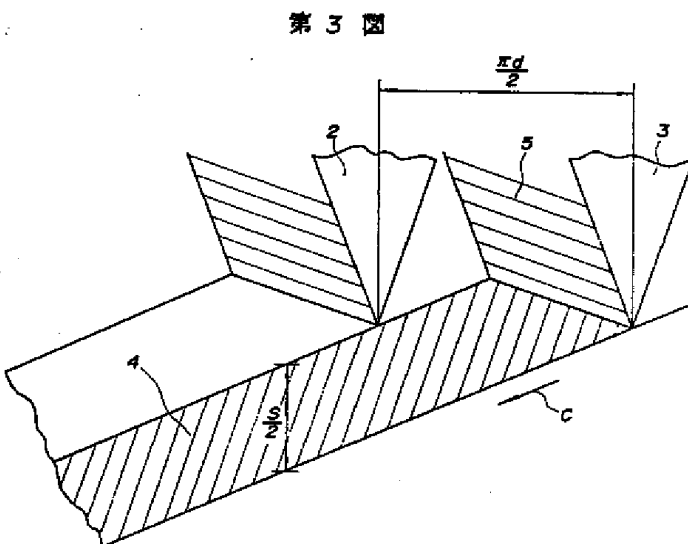
特許出願人 限 部 淳 一 郎  
代 理 人 伊 東 貞 雄



第1図

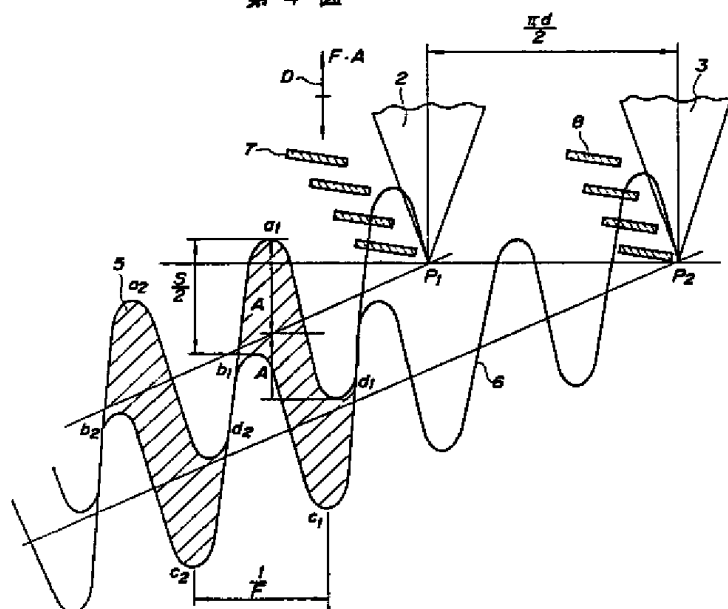


第2図

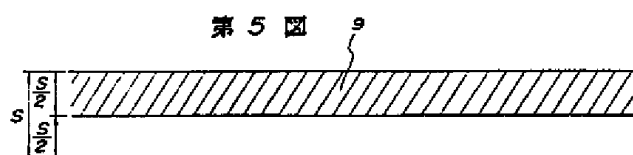


第3図

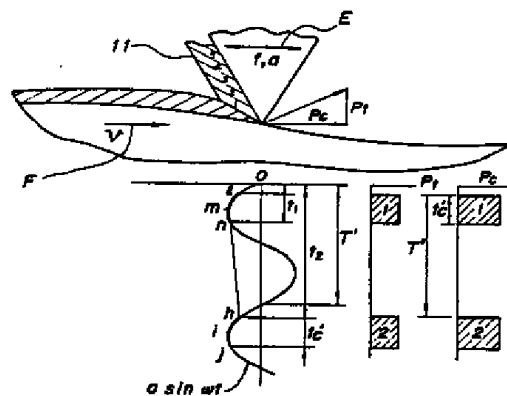
第 4 図



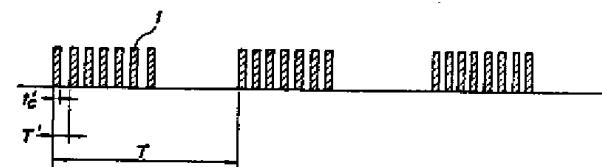
第 5 図



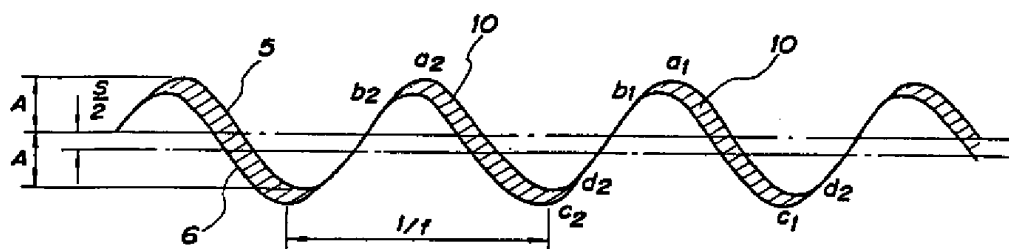
第 8 図



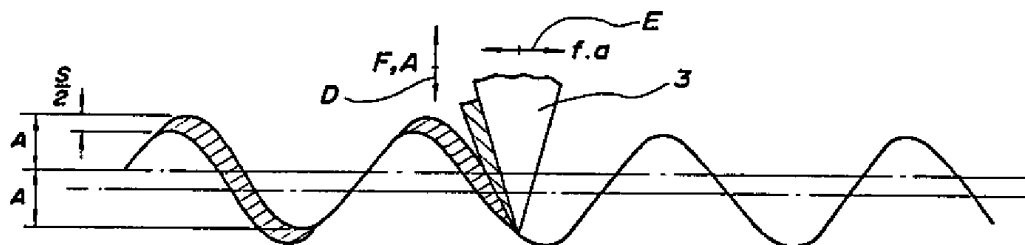
第 9 図



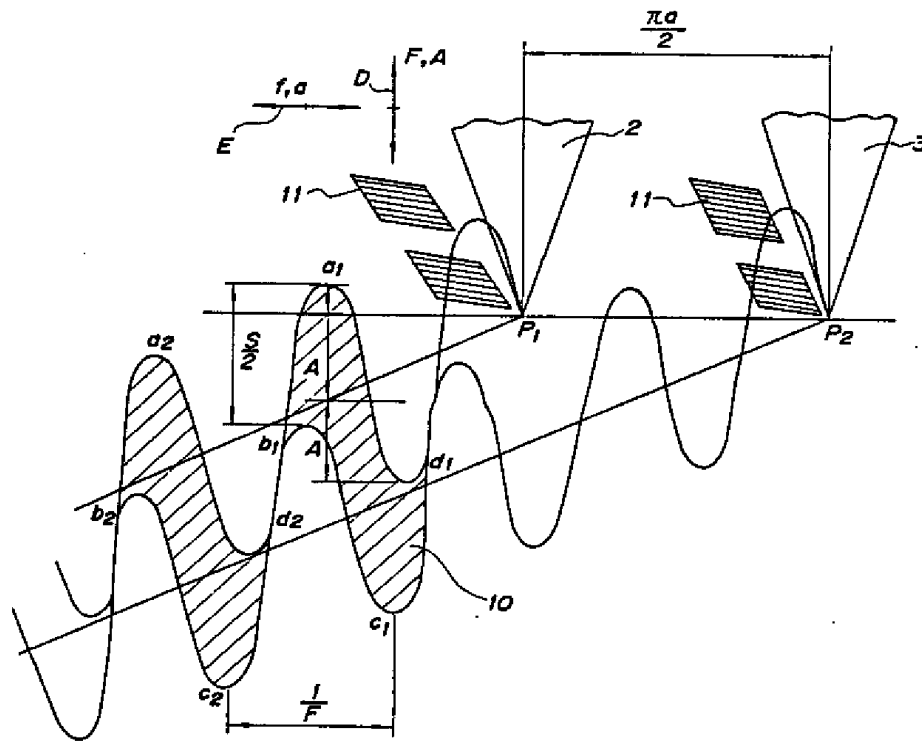
第 6 図



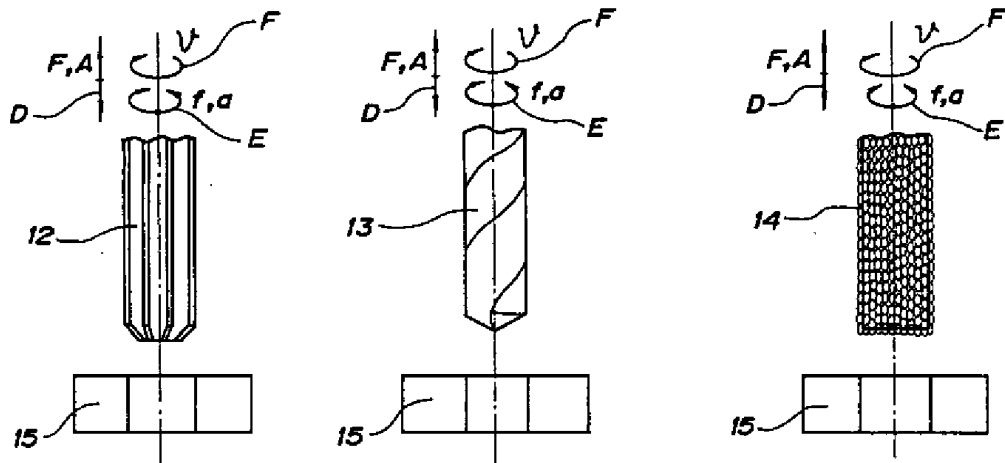
第 7 図



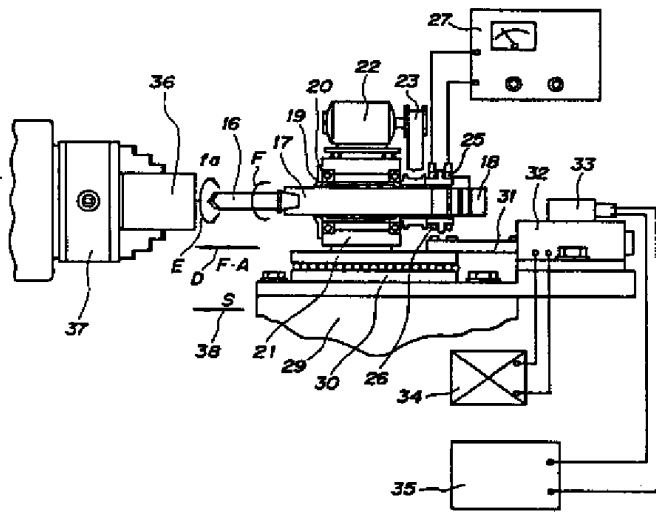
第 10 図



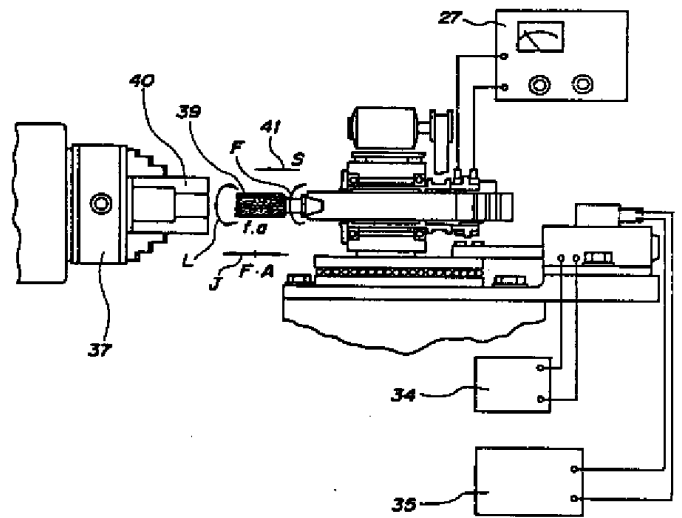
第 11 図



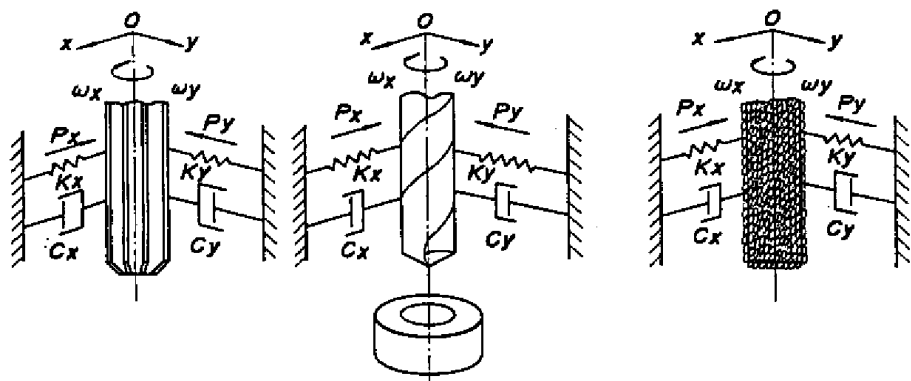
第 12 圖



第 13 圖



第 14 圖



第 15 圖

